

左上一箇所でホチキス留め

受付番号: SJ0241
エントリーID: 591

筑波大学

朝永振一郎記念

第13回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0241

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : 風力発電に適した羽根の研究(その2)~ペットボトルを使った風力発電に適した羽根とは~

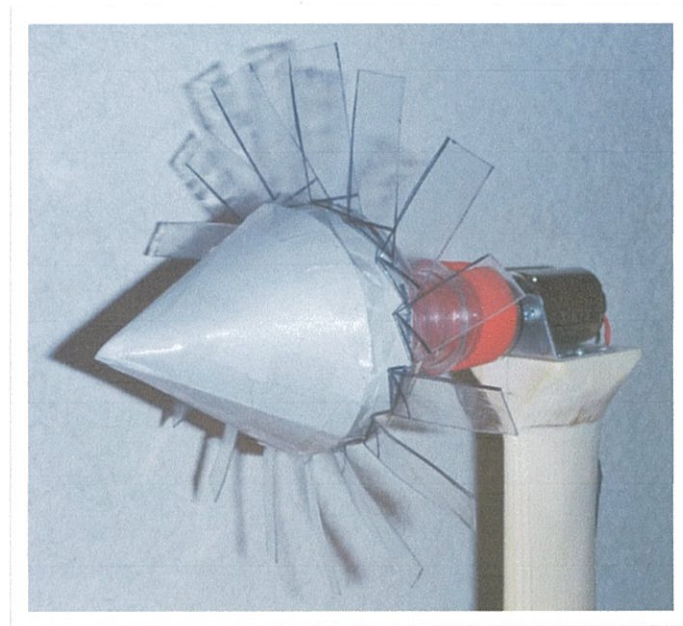
学校名 : 長崎大学教育学部附属中学校

学年 : 3年生

代表者名 : 山道 陽輝

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

風力発電に適した羽根の研究（その2） ～ペットボトルを使った風力発電に適した羽根とは～



長崎大学教育学部附属中学校
3年 山道陽輝

研究のきっかけ

昨年、ペットボトルを使った風力発電に適した羽根の形状を見つけるために、ペットボトルを用いて羽根の枚数、角度を変える実験を行い、下記の知見を得た。

- ・同じ風速であれば羽根の枚数が多い方が発電量が多い
 - ・同じ羽根の枚数であれば羽根の角度は $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ が最も効率が良い
 - ・羽根の枚数が多くなりすぎると、羽根の強度が落ちるため風速が大きい時に発電効率が悪くなる
- これらの結果より、ペットボトルを使った風力発電に適した羽根とは「羽根の角度が $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ で、羽根の枚数は風速により適した枚数は異なる」と言える。

今回、より幅広くかつ大きな風速に対応でき、最も発電効率が良い羽根を見つける研究を進めることにした。

実験の方法

今回の実験も前回と同様に、容易に複数の羽根の形を比較できるようにペットボトルを使用する風力発電を用いて、羽根の枚数や角度、および風の強さを変化させて、その時の発電量を比較することにした。同じ風の強さにおいて、発電量が多いものを発電効率が良いものとした。

なお、前回の実験で風により羽根がねじれることが発電量に影響を与えることが分かったので、今年は送風ファンを大型化し、ペットボトルの羽根全体に風を当てるようにして、より正確な結果が得られるようにした。

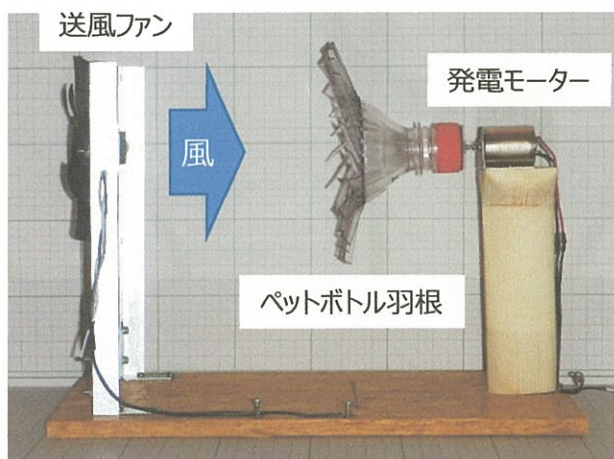


写真1：実験装置

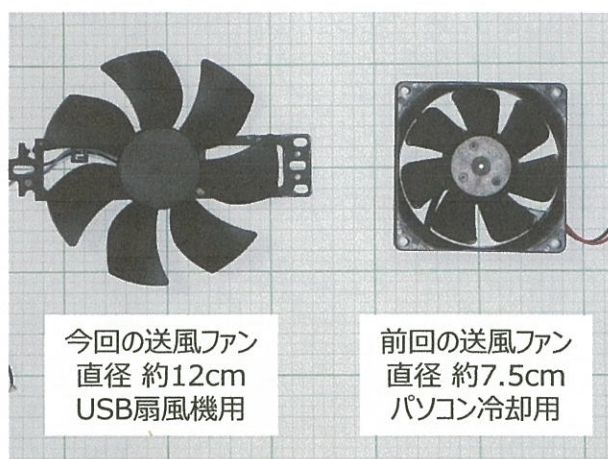


写真2：送風ファンの大きさの違い

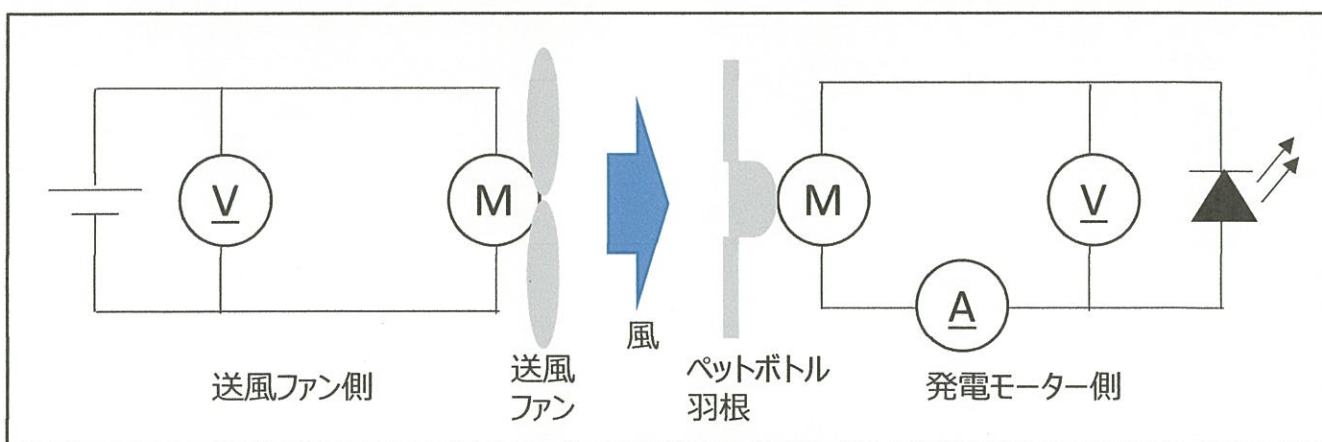


図1：実験装置回路図

①実験装置

実験装置は前回の実験とほぼ同じ構造で、送風ファンとペットボトル羽根の回転軸が直線上に並ぶように高さを揃え、送風ファンとペットボトル羽根の距離も13cmと同じにした。送風ファンはペットボトル羽根の大きさ（直径約12cm）を考え、ほぼ同じ直径のUSB扇風機を分解して使用した。

<装置構成>

発電用モーター：ペットボトル発電キットのモーター
羽根の材料：コカ・コーラ社製300mlペットボトル
送風ファン：USB扇風機（山善 YPS-C10）※ファンユニットのみ使用
電源装置：株式会社ナリカ 直流電源装置 B10-2300
電圧計(送風ファン側)：HIOKI CARDHiTESTER
電圧計(発電側)：DER EE DE-264-02
電流計(発電側)：METERK Multitester MK11
風速計：testo社 熱線式風速計

②ペットボトル羽根の作製方法

前回と同じく、ペットボトル羽根の材料にはコカ・コーラ社製の300mlペットボトルを使用した。

このペットボトルを選んだ理由

- ・炭酸用で硬く、風を当てても変形しにくい
- ・上半分が円柱形であり、羽根にしやすい
- ・10等分に模様が入っており、印を付ける時の目安になる
- ・容量が少ないため、準備が容易である（500mlや1500mlだと飲むのに時間がかかる）



図2：ペットボトル羽根の作製方法



写真3：ペットボトル



等分の線に沿って切る



線に沿って曲げる

写真4：ペットボトル羽根の作製方法

事前実験

①目的

今回の実験において、風の強さ（風速）は送風ファンにける電圧を変えて変化させる。
そのため、電圧と風速の関係を調べ、実験するときの風速を決めるとともに、その風速の電圧を把握しておく。

②実験方法

今回の送風ファンは5v用であるため、送風ファンにける電圧を、送風ファンが回り始めるギリギリの3.0Vから7.0Vまで0.5Vずつ変化させ、その時の風速を測った。風速を測る場所は、発電側のモーターの回転軸の3cm右とし、10秒間の平均を3回とり、その平均を送風ファンの風速とした。

③実験結果

送風ファンにける電圧と、風速の関係を下の表とグラフに示す。
風速（近似値）は、実測値より線形近似した直線の式より算出した値を示す。

表1 ファンにける電圧と、風速の関係

電圧	3.0V	3.5V	4.0V	4.5V	5.0V	5.5V	6.0V	6.5V	7.0V
風速(実測値)	2.06m/s	2.42m/s	2.73m/s	3.05m/s	3.34m/s	3.45m/s	3.83m/s	4.08m/s	4.36m/s
風速(近似値)	2.14m/s	2.42m/s	2.70m/s	2.98m/s	3.26m/s	3.54m/s	3.82m/s	4.10m/s	4.38m/s

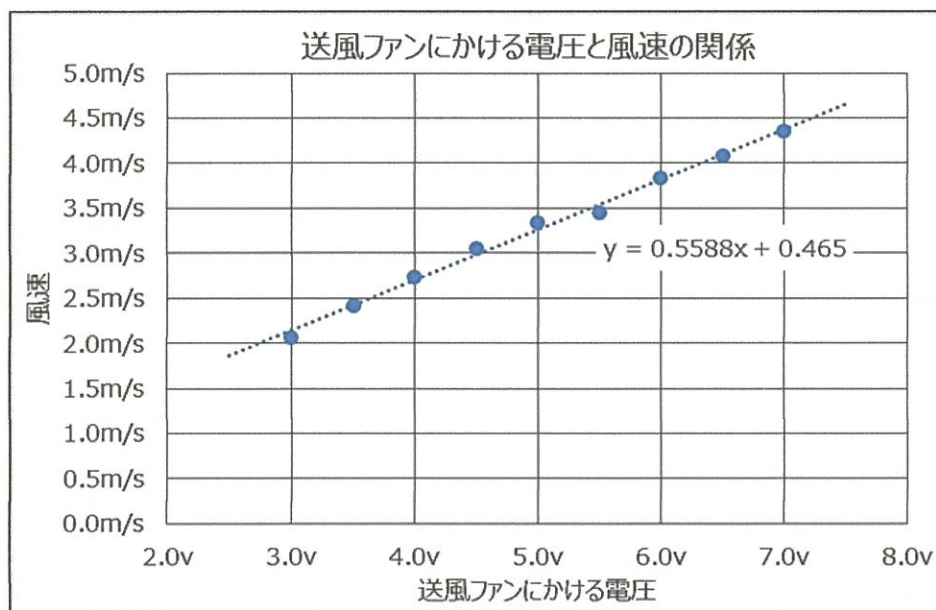


図3 送風ファンにける電圧と風速の関係

送風ファンにける電圧と風速は比例関係にあると言え、電圧を変えることで風速を制御できることが分かる。また、前回の実験はおおよそ1.3m/s～1.6m/sの実験であったため、「前回よりも広範囲でかつ大きな風速に使える発電効率の良い羽根を見つける」という今回の実験に使用できることが確認できた。

実験 1 : 羽根の枚数と発電効率の関係の再現実験

今回の実験は昨年の実験から送風ファンを変更したため、同様の結果が得られるか再現実験を行った。また、前回の実験で羽根の角度は 30° ~ 45° 、羽根の枚数は15枚~25枚において発電量が大きいという結果が得られているため、今回はこの範囲にしばって実験を行うことにした。

①仮説

送風ファンが大きくなったことでペットボトル羽根全体に均等に風が当たるようになり、より強い風でもねじれにくくなるなど25枚羽根の結果が変わっているのではないかな？

②実験方法

ペットボトルの側面をそれぞれ15、20、25等分し、 30° の角度で折り曲げて羽根を作成する。この羽根を発電用モーターにとりつけ、送風ファンの電圧を4.0V、5.0V、6.0Vの三段階に変化させて前回の結果と比較した。(今回の羽根は前回の羽根をそのまま使用した)

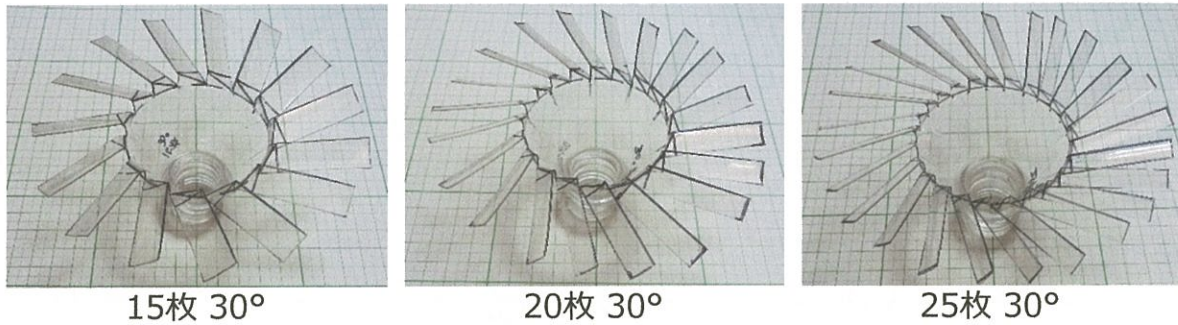


写真 5 実験に用いたペットボトル羽根

③実験 1 結果

実験結果を以下の表とグラフに示す

表 2 前回の結果との比較

風速		1.06m/s	1.13m/s	1.38m/s	2.70m/s	3.26m/s	3.82m/s
前回	15枚	4.1mW	8.4mW	13.3mW			
	20枚	4.4mW	8.4mW	6.2mW			
	25枚	13.3mW	12.5mW	11.0mW			
今回	15枚				9.0mW	18.0mW	29.5mW
	20枚				9.2mW	16.7mW	26.9mW
	25枚				9.2mW	16.5mW	24.7mW

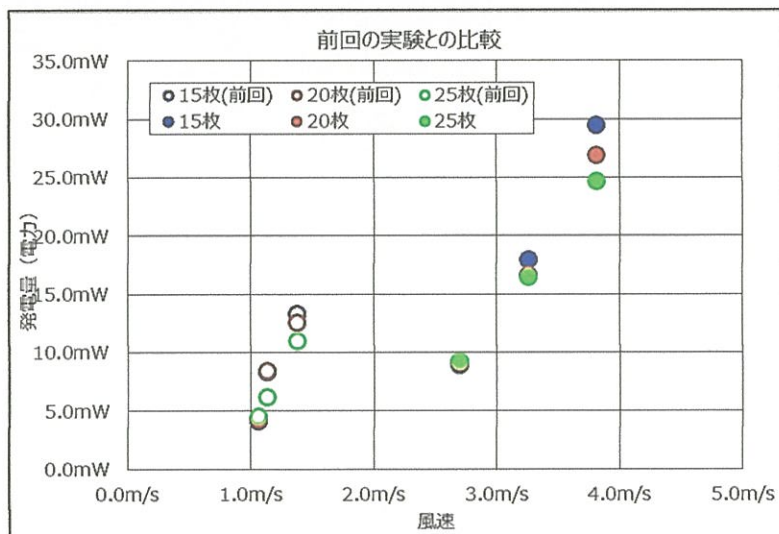


図 4 前回の結果との比較

今回の実験装置の結果と前回の実験装置の結果を比べてみると、風速が小さい時には羽根の枚数が多い方が発電量が大きく、風速が大きくなると羽根の枚数が少ない方が発電量が大きくなるという傾向は再現しており、風速の大小に対して最適な羽根の枚数があるということが言える。

しかし、同じ風速に対しての発電量は前回よりも低下しており、風速の変化量に対する発電量の変化の割合も小さくなっている。ペットボトル羽根や発電モーターは前回と同じものを使用しており、この違いが発生したのは送風ファンを変更したことによるものと考えられるが、この原因について今回の研究の中では見つけることができなかった。今後さらに調査を進めたい。

実験 2 : 羽根の枚数およびその角度と発電効率の関係

今回の実験装置ではペットボトル羽根全体に均等に風が当たるようになったことから枚数が多い羽根でも羽根のねじれが小さくなるなど傾向が変わることが予想できる。

そこで、羽根の枚数およびその角度の違いにより発電効率を確認した。

①仮説

前回の実験では25枚羽根は風速が大きくなるとねじれて発電量が落ちる傾向がみられたが、今回の実験では全体に均等に風があたるようになり、強い風にもねじれずより発電量が多い状態が保てるのではないかと？

②実験方法

ペットボトルの側面をそれぞれ15、20、25等分し、30°または45°の角度で折り曲げて羽根を作成する。この羽根を発電用モーターにとりつけ、送風ファンの電圧を3.0vから6.0vまで変化させて発電量を比較した。

③実験 2 結果

羽根の角度が30°または45°での羽根の枚数と発電量の関係を以下の表とグラフに示す

表 3 羽根の枚数とその角度と発電効率の関係 (羽根の角度30°)

電圧	3.0v	4.0v	5.0v	6.0v
風速	2.14m/s	2.70m/s	3.26m/s	3.82m/s
15枚	1.5mw	9.0mw	18.0mw	29.5mw
20枚	2.4mw	9.2mw	16.7mw	26.9mw
25枚	2.7mw	9.2mw	16.5mw	24.7mw

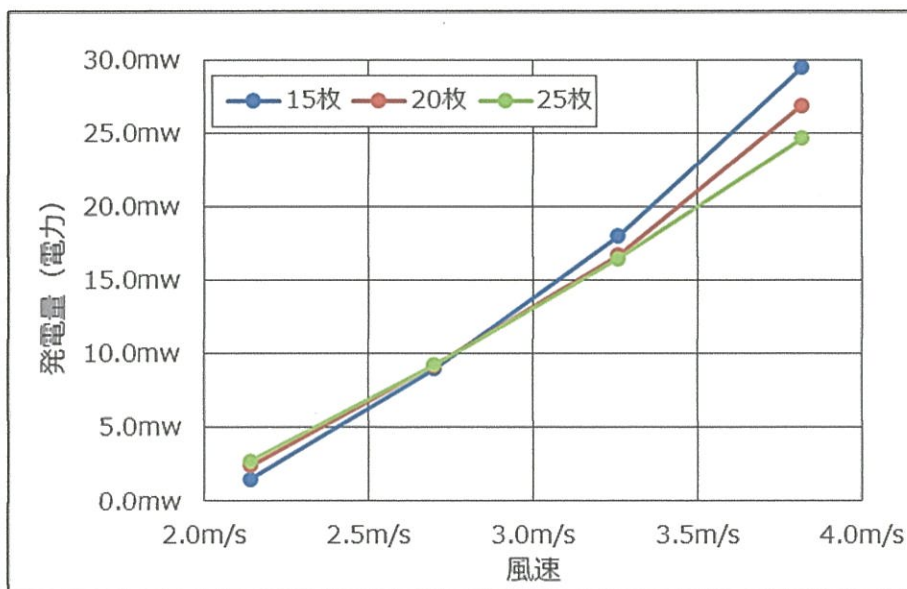


図 5 羽根の枚数とその角度と発電効率の関係 (羽根の角度30°)

表4 羽根の枚数とその角度と発電効率の関係（羽根の角度45°）

電圧	3.0v	4.0v	5.0v	6.0v
風速	2.14m/s	2.70m/s	3.26m/s	3.82m/s
15枚	1.5mw	6.8mw	12.3mw	18.3mw
20枚	2.0mw	7.9mw	14.8mw	20.7mw
25枚	2.2mw	9.2mw	17.0mw	24.5mw

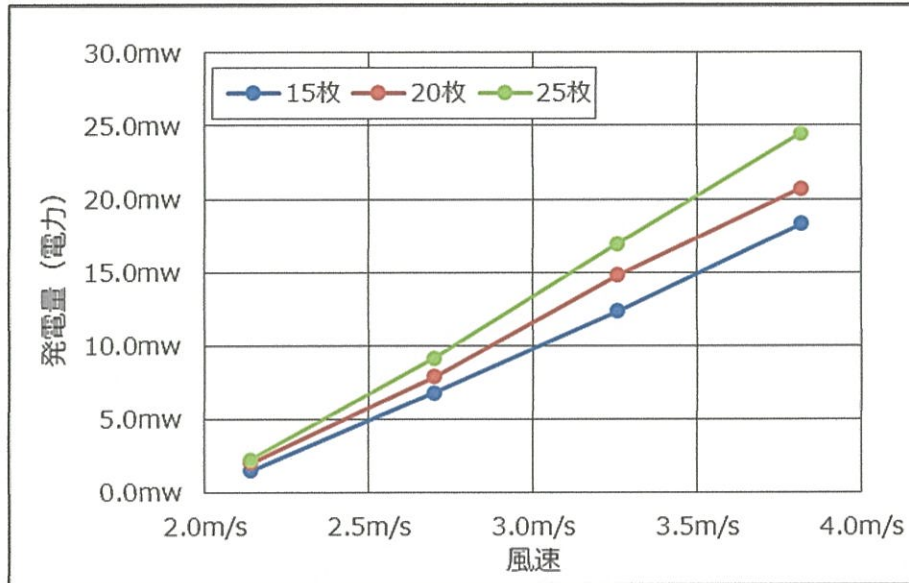


図6 羽根の枚数とその角度と発電効率の関係（羽根の角度45°）

30°の羽根では風速が小さい時は25枚の方が発電量が大きく、風速が大きくなると15枚の羽根の方が発電量が大きくなっている。これは前回の実験でも同じ傾向であり、羽根の枚数が多い方が発電量は大きいですが、風速が大きくなると細い羽根は変形しやすく、回転効率が悪くなってしまい結果的に枚数が少ないものの発電量が大きくなったと言える。

しかし45°の羽根では、風速が小さい時から大きい時まで25枚羽根の発電量が大きく、風速が大きくなるとその差は大きくなっており、45°の羽根においては25枚羽根が最も効率が良い羽根という結果が得られた。

30°と45°で結果に差がでた理由は、30°の方がより正面で風を受けることで羽根に大きな力がかかってしまうので、羽根のねじれが発生しやすく発電の効率が落ちたが、45°は6.0vの風でもねじれが発生せず、羽根の枚数が多い方が効率が良いという傾向が見えていいると考えられる。

同じ羽根の枚数で比較すると30°の方が発電量が大きい。昨年の実験で最適な角度は30°～45°という結果が得られており、今年の結果と併せて考えると最適な羽根の角度は30°と考えられる。

実験3：羽根の断面形状が発電量に与える影響を調べる

ペットボトル羽根は円筒形を切って作っているため、風に向かって凹んだ形状をしている。

形状からイメージすると正面から風を受けて回転方向に効率よく流せる形状だと考えられるが、実際にどの程度発電量に影響があるのか調べた。

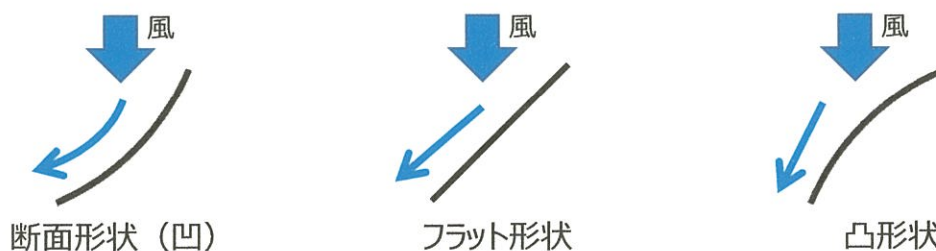


図7 羽根の断面形状のイメージ

①仮説

風に向かって凹んでいる形状が最も発電量が大きく、凸形状は発電量は小さくなる。
さらに、フラットな形状は風に対して変形しやすくなるため最も発電量が小さくなるのではないかと？

②実験方法

15枚ペットボトル30°の羽根を用いて、通常に取り付けたもの、反対向きに取り付けたもの、羽根をフラット形状に加工してから通常通り取り付けられたものの3つの羽根で発電量を比較する。

羽根をフラット形状に加工するのは、アイロンで温めた後に平らな板で挟むという方法を用いた。

反対向きに取り付けるには別のペットボトルの上部を切り取ったものを発電モーターに取り付け、ペットボトル口の内径と同じ角材を差し込み、それに反対向きに羽根を取り付けるという方法を用いた。この時も送風ファンとペットボトル羽根の距離は他の羽根と同じ距離になるように注意した。



写真6 アイロンを用いた加工

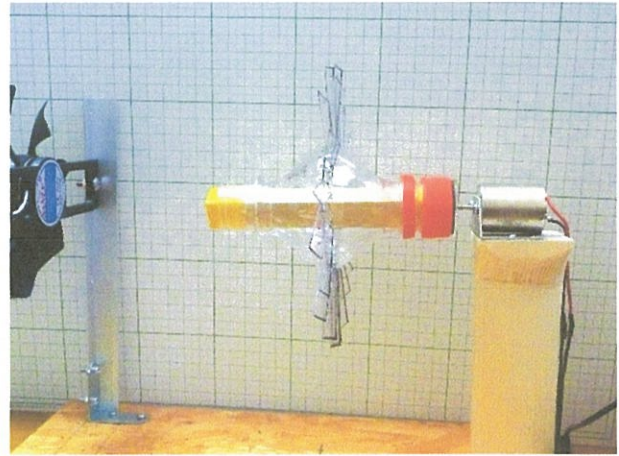


写真7 逆向きに取り付けた羽根



写真8 通常の羽根の断面



写真9 フラットにした羽根の断面

③実験2 結果

実験結果を以下の表とグラフに示す

表5 羽根の形状と発電量の関係 (15枚 30°)

電圧	3.0v	4.0v	5.0v	6.0v
風速	2.14m/s	2.70m/s	3.26m/s	3.82m/s
表	1.5mw	9.0mw	18.0mw	29.5mw
フラット	0.0mw	4.9mw	12.4mw	20.5mw
裏	0.0mw	1.6mw	7.8mw	15.2mw

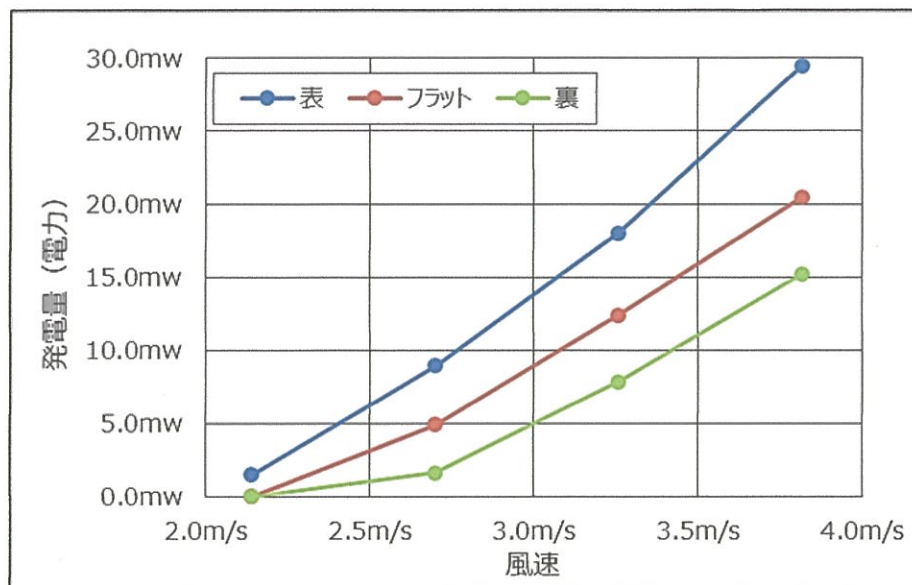


図7 羽根の形状と発電量の関係 (15枚 30°)

発電量は、表 (通常)、フラット、裏 (逆向き) の順に大きく、裏は表に対して半分程度の発電量しか得られなかった。また、フラット、裏の羽根は風速が最も小さい時には回転せず発電をすることができなかった。

羽根が平らになったことで風に対して変形しやすくなって発電量は落ちるのではないかと予想していたが、それ以上に逆向きに取り付けて凸形状になり、風の向きを回転方向に変換する効率が悪くなった影響の方が大きかったと考えられる。

実験4：更なる改善

現在のペットボトル羽根を用いて、更に発電量を増やす方法がないか考えてみた。

①改善方法

羽根を見ていると、ペットボトルの中心部は単に円筒であり回転には寄与していないと思えたため、円筒部に円すいをとりつけて羽根部分に風を流すことで風を有効に使えるのではないかと考えた。

②実験方法

発電量が最も大きかった30°の羽根を用いて、工作用紙で作った円すいを円筒部にはめて発電量がどのように変化するか調べた。円すいは円筒部にぴったりはまるように直径6cm、高さは約6cmとして、その下に約1cm幅の帯をつけて容易に固定できるようにした。

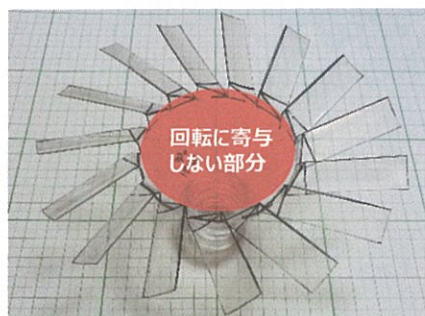


写真10 円筒の中央部



写真11 円すい

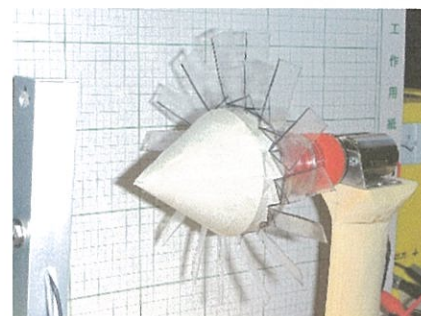


写真12 円すいを取り付けた様子

③実験結果

実験結果を次ページの表とグラフに示す。

表 6 円すい有無の発電量への影響 (30°)

電圧	3.0v	4.0v	5.0v	6.0v
風速	2.14m/s	2.70m/s	3.26m/s	3.82m/s
15枚	1.6mw	9.7mw	18.4mw	28.2mw
20枚	1.9mw	8.8mw	17.3mw	25.5mw
25枚	2.1mw	8.5mw	16.4mw	23.6mw

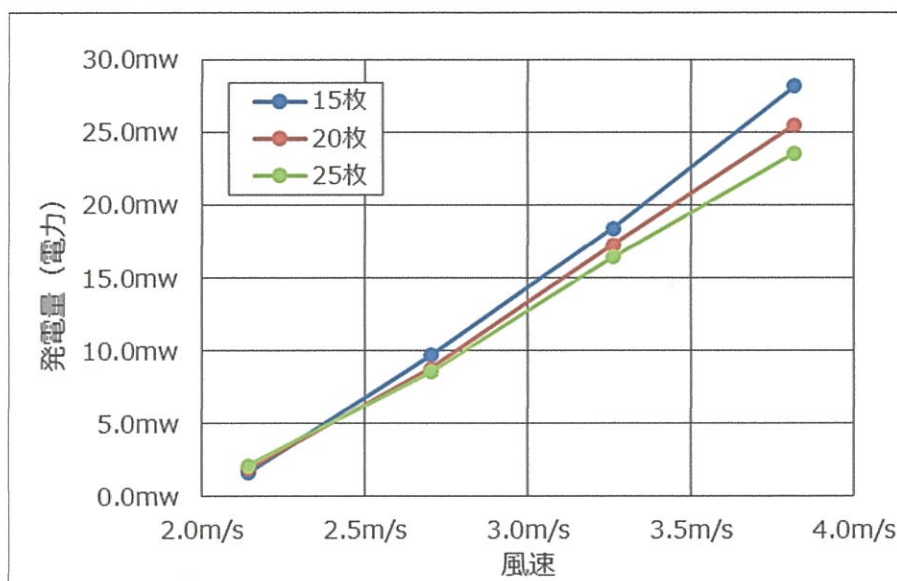


図 8 円すい有無の発電量への影響 (15枚 30°との比較)

円すいをつけていない場合 (表 3) と比較すると、15枚羽根は風速が最も大きい場合を除き、ごくわずかではあるが発電量は増加した。しかし、20枚や25枚ではほとんどの風速で発電量は減少してしまった。この理由として、円すいをつけたことで中央部に流れていた風が羽根の根元に流れるようになり、ねじれにくい15枚羽根は発電量が増加したが、20枚や25枚の羽根は根元部だけに多くの風があたりねじれてしまったのではないかと考えた。

また、すべての羽根の枚数でもっとも風速が大きい時の発電量が減少したのは、回転の様子を見ていると円すいが大きくぶれて羽根全体に振動があったことから、円すいの加工精度が低かったことで、羽根のスムーズな回転を妨げてしまったのではないかとと思われる。より高精度で回転バランスがとれた円すいを取り付ければ風速が大きい時でも発電量が大きくなるのではないだろうか。

実験結果のまとめ

ペットボトルで作製した羽根を用いた風力発電器を用い、羽根の枚数や角度、羽根の向きなどを変化させて発電量を調べ、下記の知見を得た。

- ・風速が小さい時には羽根の枚数が多い方が発電量は大きく、風速が大きい時には羽根の枚数が少ない方の発電量が大きい
- ・発電量が最も大きい羽根の角度は30°である
- ・羽根の形状はペットボトル羽根の内側を風上に向ける方が発電量が大きい
- ・ペットボトル羽根の中央部に円すいを取り付けることで発電量を増加させることができる

最も発電効率が良い羽根とは？

これまでの実験でペットボトルの羽根の枚数や角度によって発電量がさまざまに変化することが確認でき、風速が小さい時が得意な羽根や風速が大きい時が得意な羽根の傾向が見えてきた中で、最も発電効率が良い羽根をどの様にして決めればよいか考えた。

発電効率が良い羽根とは、ある風速で最も発電量が大きいもの、風速に範囲がある場合はその合計が最も大きいものが最も効率が良い羽根であると考えた。つまり、「風速と発電量のグラフにおいて、その囲った面積が一番大きいもの」が最も発電効率が良い羽根とした。

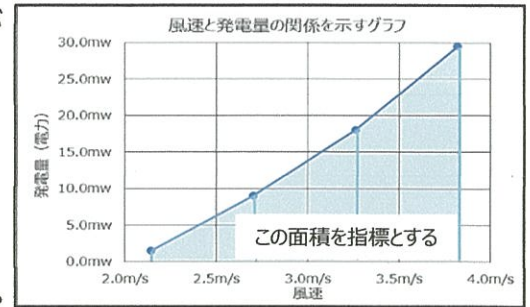


図9 グラフが囲う面積

表7 発電効率の比較

羽根角度	羽根	3.0v	4.0v	5.0v	6.0v	面積	面積順位
		2.14m/s	2.70m/s	3.26m/s	3.82m/s		
30°	15枚	1.5mw	9.0mw	18.0mw	29.5mw	23.7	2
	20枚	2.4mw	9.2mw	16.7mw	26.9mw	22.6	3
	25枚	2.7mw	9.2mw	16.5mw	24.7mw	22.0	
45°	15枚	1.5mw	6.8mw	12.3mw	18.3mw	16.2	
	20枚	2.0mw	7.9mw	14.8mw	20.7mw	19.0	
	25枚	2.2mw	9.2mw	17.0mw	24.5mw	22.1	
30° 円すい有り	15枚	1.6mw	9.7mw	18.4mw	28.2mw	24.0	1
	20枚	1.9mw	8.8mw	17.3mw	25.5mw	22.2	
	25枚	2.1mw	8.5mw	16.4mw	23.6mw	21.1	
15枚30°	フラット形状	0.0mw	4.9mw	12.4mw	20.5mw	15.4	
	逆向き	0.0mw	1.6mw	7.8mw	15.2mw	9.5	

以上の結果および定義より、今回の実験範囲において最も発電効率が良いと言える羽根は「**羽根角度30°、枚数15枚、円すい有り**」である。

考察

前回に引き続きペットボトルを使った風力発電に適した羽根について実験を行った。

今回の実験では前回の実験と比べて同じ風速でも発電量が小さくなるという結果になってしまったが、この原因については、前回の送風ファン（PCファン）は小さかったため、高回転になり風速の変動が少なかった、サーキュレーターのように風が局所的に進んでいて風速を測定したポイント以外に強い箇所があった、逆に今回の送風ファンは回りに囲いが無い扇風機型を使ったので風が拡散してしまった等が考えられるが、結論には至らなかった。この点については別途研究を進めたい。

羽根の形状について、凹/フラット/凸と比較したが、凹がもっとも発電量が大きかった。これは図7に示した通り、羽根の曲面が風の流れを効率よく回転する力に変えられているためであろう。

中央部の円すいの効果については、全ての羽根の枚数で効果があると思っていたが、羽根の枚数が多くなると発電量が落ちてしまった。風速が遅い時はブレの影響も小さいので円すいの工作精度の低さよりも羽根の根元にだけ風量が増したことで羽根の変形が起きていることが原因と考えた。この円すいも最適な高さがあると思われるが、高さを高くするとブレに対する影響も大きくなり高い工作精度が必要になるので、ペットボトル羽根を用いた工作レベルの実験という範囲では今回の高さ程度以上は難しいと感じた。

実験を行ってみて

前回の実験では、「ペットボトルを使った風力発電に最適な羽根」というテーマで研究を進めているにも関わらず、最適な羽根はコレだという結論を出すことはできませんでした。そこで、今回は定義をしっかりと決めることで最適な羽根を見つけ出すことができ、研究の一番の目的を達成することができたので良かったと思います。前回の実験と今回の実験で結果に違いがあった理由については引き続き実験と検証を行いたいと思います。

今後は今回の実験結果を活かして、実際の生活に応用できる規模の研究に展開したいと考えています。